



Sveriges geologiska undersökning

Sura sulfatjordar och metallbelastning



Kaj Lax & Gustav Sohlenius

Sura sulfatjordar och metallbelastning

SGU-rapport
2006:5

SGU-rapport
2006:5

2006-03-30

Målsättning

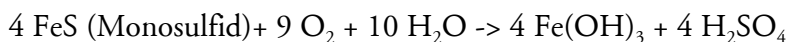
Avsikten med detta projekt är att:

- undersöka miljökemiska egenskaper hos sura sulfatjordar och potentiellt sura sulfatjordar i Uppsala-regionen,
- undersöka huruvida snabba och enkla analysmetoder kan indikera sannolikheten för att SSJ utvecklas,
- utgöra underlag till en eventuell framtida kartläggning av problemjordar i form av sura sulfatjordar och potentiellt sura sulfatjordar.

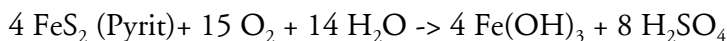
Inledning

I både Sverige och Finland finns stora arealer med postglaciala sediment vilka innehåller järnsulfider (tex FeS och FeS₂). Dessa sediment förekommer främst i områden som efter den senaste istiden legat under Östersjöns nivå men som genom den alltså pågående landhöjningen torrlagts (Åström 1996, Öborn 1994). I samband med byggnationer eller för att möjliggöra uppodling sänks ofta grundvattenytan varvid järnsulfiderna oxiderar, vilket ofta leder till en kraftig sänkning av pH. Den jordmån som bildas efter oxidation av sulfidhaltiga sediment brukar kallas sur sulfatjord (förkortas SSJ). De sura förhållandena leder till en ökad kemisk vittring vilket gör att metaller såsom aluminium, nickel, kadmium, kobolt m.fl. kan mobiliseras (Åström och Björklund 1996; Sohlenius och Öborn 2004). Det sura, metallrika vattnet kan medföra skadeverkningar på akvatiska ekosystem, bl.a. är plötslig massdöd bland fisk inte helt ovanligt. Det är därför viktigt att vid byggnationer och dylikt i möjligaste mån undvika att sulfidhaltiga sediment oxiderar. Inom detta projekt har vi studerat enkla fält- och labbmetoder som kan användas för att snabbt och enkelt identifiera dessa problemjordar. Dessutom har jordarnas geokemiska egenskaper undersökts i laboratoriemiljö.

Sura sulfatjordar är sådana jordar där det som en följd av jordmånsprocesser bildas eller har bildats svavelsyra i en sådan omfattning att det får en varaktig effekt på jordens karaktär. Bildandet av surt vatten drivs enligt en välkänd process, som kan (starkt förenklas) sammanfattas enligt:



eller



Man brukar skilja på de jordar som redan är oxiderade och därmed sura och de som är reducerande (syrefria) och potentiellt kan bilda sura sulfatjordar (Brinkman och Pons, 1973). Ovanför grundvattenytan kännetecknas SSJ av lågt pH (<4) samt, i sprickbildningar, riklig förekomst av järnhydroxider. Det är speciellt längst Norrlands kust som problem relaterade till SSJ uppmärksammas (t.ex. Fromm, 1965). Det är dock väl känt att dessa jordar även

2006-03-30

förekommer längre söderut i Sverige, exempelvis förekommer sulfidhaltiga sediment och sura sulfatjordar på delar av Uppsalaslätten (Järnefors 1958; Wiklander och Hallgren 1949).

Ett lågt pH gör att vissa giftiga tungmetaller (t.ex. Cd) är lätttrörliga i marken och därför i större utsträckning tas upp av växter. Undersökningar från Finland visar att halterna av flera metaller (t.ex. Ni och Co) är relativt höga i växter i områden med SSJ (Yli-Halla & Palko 1987, Lax 2005). Under vårfloden i Norrland och Finland har s.k. surstötar i sällsynta fall lett till fiskdöd i sjöar, som har SSJ i sina avrinningsområden (t.ex. Byrsten & Sandberg 2005, Granlund 1943). Ett annat problem relaterade till dessa jordar är att dräneringsrör sätter igen p.g.a. utfällning av järnhydroxider samt korrosionsproblem orsakade av de sura förhållandena i jorden.

Man räknar med att det i hela världen finns 12–14 miljoner hektar sura sulfatjordar, varav ca hälften finns i Sydostasien (Dent & Pons, 1995). Den totala arealen sura sulfatjordar har i Sverige uppskattats till 140 000 hektar (Öborn, 1989). Det är dock möjligt att den verkliga arealen är större eftersom ingen kartering inriktad på SSJ har skett. Det har inte heller gjorts några uppskattningar av arealen potentiellt sura sulfatjordar i Sverige.

Ett problem med sulfidhaltiga sediment och SSJ är att det saknas en metodik för att snabbt identifiera dessa problemjordar. I Uppland tillkommer en speciell problemställning eftersom en del av de sulfidförande sedimenten samtidigt innehåller kalciumkarbonat CaCO_3 (Wiklander & Hallgren 1949), företrädesvis skalrester från marina organismer. Dessa karbonater förmår buffra delar av (eventuellt all) den syraproduktion som uppstår vid oxidation av de sulfidrika sedimenten, och därmed förhindras utsläpp av surt, metallrikt vatten. Detta kan möjligen förklara varför problemen med SSJ inte varit lika stora (eller uppmärksammas) i Uppland som längs Norrlandskusten.

Under senare år har frågeställningarna kring SSJ, sulfidrika sediment samt metoder för att undersöka potentiella miljökonsekvenser, blivit ett problem vid olika byggprojekt i flera regioner i Sverige. I Uppsala kan byggandet av Musikens hus, Resecentrum samt nya E4 nämnas. Problemen kan indelas i två kategorier; rent byggnadstekniska samt miljömässiga. Medan de tidigare ingalunda är unika (även icke-sulfidförande eller låghaltigt sulfidförande, finkorniga jordarter med hög organisk halt kan ha liknande tekniska egenskaper) är de potentiella miljöeffekterna mer specifika. Idag saknas det såväl kunskap om hur stora miljöproblem de sulfidförande sedimenten kan medföra, samt snabba metoder för att undersöka om dessa reducerade sediment kan omvandlas till SSJ vid oxidation. Att miljöproblemen kan vara avsevärda har visats i Finland, där lakvatten från sura sulfatjordar för flera metaller t.o.m. överstiger industriella utsläpp (Sundström m.fl. 2002). Avsikten med detta projekt är att undersöka huruvida snabba och enkla analysmetoder kan indikera sannolikheten för att SSJ utvecklas. Dyliga metoder behövs för att minimera långa avbrott vid byggnation, avbrott som beror på ett relativt långt analysförfarande samt noggranna bedömningar av hur schaktmassor skall behandlas.

Problematiken med att upptäcka och hantera SSJ och potentiella SSJ är inte ny. I en nyligen publicerad studie (Wennberg 2005) rekommenderas att svavelhaltiga sediment undersöks med avseende på nettoneutralisations-potential (NNP), och att leror med $\text{NNP} < 5$ skall undersökas med avseende på metallinnehåll för att en god riskbedömning skall kunna utföras. Andra angreppssätt har beskrivits av bl.a. även omfattat möjliga

efterbehandlingsåtgärder. Gemensamt för de flesta metoderna är att de förlitar sig på någon form av analys, dvs. en enkel fältbedömning eller -undersökning räcker inte (se t.ex. Mácsik 2000). Det finns även datorprogram utvecklade för SSJ-ändamål, ett av dessa är IDENTIKT, ett program som förutom identifikation även syftar till att vara ett stöd för hantering av problemjordarna. Tyvärr är programmet med tillhörande manual (Dent & Dawson) skraddarsytt för SSJ i tropiska och subtropiska områden, och kan inte på något enkelt sätt anpassas till nordeuropeiska miljöer.



Figur 1. Svartmocka provtagen i en våtmark vid Västerfjärden ca 10 km söder om Umeå.

Fältkännetecken för sura sulfatjordar och sulfidhaltiga sediment

Med utgångspunkt från resultaten tidigare projekt kan några fältkännetecken för sura sulfatjordar och sulfidhaltiga sediment sammanställas (Sohlenius m.fl. 2004). Dessa jordar kan ofta identifieras redan i fält, dels med utgångspunkt från deras läge i terrängen och dels med utgångspunkt från jordartens utseende.

I Västerbotten och Norrbotten bildas sura sulfatjordar främst efter oxidation av s.k. svartmocka i vilken mineralet FeS färgar jorden svart (Figur 1). I många fall påminner dessa svarta jordar om skokräm. I kontakt med syre oxiderar FeS väldigt fort och jorden får en grå färg redan efter några timmar. Svartmockan är vanlig framförallt i de områden med postglacial silt som utgör slättnområdena närmast kusten. Denna sulfidhaltiga silten innehåller en eller ett par procent organiskt material. Längre upp i dalgångarna och längst vattendrag är de sulfidhaltiga sedimenten oftast täckta av yngre älv och svallsediment.

I södra delen av Sverige utvecklas sura sulfatjordar ofta på platser som på SGUs jordartskartor klassificerats som gyttjelera. Områden med gyttjelera finns ofta i de lägst

2006-03-30

partierna av områden som utgörs av lersediment. Ofta ligger dessa sediment i förlängningen av havs och sjövikar. Gyttejlera är vanligt förekommer kring Mälaren och andra nära havsyttnivån liggande sjöar i Mälardalen. Dessa leror har en blågrå ibland svagt grönaktig färg, de innehåller några procent organiskt material, samt sulfidmineralet pyrit (FeS_2). Detta sulfidmineral påverkar ej jordens färg och oxiderar inte lika lätt som FeS .



Figur 2. Sur sulfatjord som bildats efter oxidation av sulfidhaltiga sediment i Västerbotten. Dessa jordar kännetecknas av mer eller mindre lodräta sprickor som ofta når ner till grundvattennivån. Sprickornas väggar är täckta av järnhydroxider. Bilden togs i ett maskingrävt schakt vid fältarbete under sommaren 2004.

De sura sulfatjordar, som bildas efter oxidation av sulfidhaltiga sediment, kännetecknas av vertikala sprickor som ofta kan följas ner till grundvattenytan (Figur 2). I sprickorna finns ofta purpurroda (flera mm tjocka) beläggningar av järnhydroxider. I anslutning till dessa rostutfällningar förekommer ibland också det blekgula mineralet jarosit, $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, som är en bra indikator för att identifiera sura sulfatjordar. Detta sist nämnda mineral verkar vara mer vanligt förekommande i sura sulfatjordar längst Norrlandskusten jämfört med motsvarande jordar längre söderut.

2006-03-30

Metodbeskrivning

Under sommaren 2005 genomfördes en riktad provtagning i 18 lokaler med gyttjelera i Uppland (Figur 3). Dessutom provtogs ett mindre antal andra jordarter (glaciallera och svämsediment) som referensmaterial. Urvalet utfördes med hjälp av SGUs jordartsgeologiska databaser (1:50 000). Vid provtagningen användes en s.k. ryssborr på bestämda djupintervall, ett ytligare prov vid 50–60 cm och ett djupare prov vid 150–160 cm.

40 prov togs i jordart som på jordartskartorna klassificerats som gyttjelera. Som referens togs fyra prov i glaciallera (två lokaler) och prov i svämsediment (en lokal). Dessutom analyserades SGUs interna referensprov (MP1, C-horisont i morän från norra Sverige, fraktion <0,063 mm) som jämförelse och för att säkerställa analyskvaliteten.

Proven, ca 0,5–1 kg, inneslöt i numrerade plastpåsar och torkades därefter i dragskåp (rumstemperatur, ca +20 °C). Vid provtagningen uppmättes även pH i en suspenderad blandning bestående av prov uppslammat i Milli-Q-vatten. På grund av tekniska problem med pH-utrustningen i fält användes pH-sticka.

Samtliga prov pH-bestämdes efter metod modifierad från Åström & Björklund (1997). 3,0 gram torkad lera vägdes upp varefter 3 ml Milli-Q-vatten tillsattes. Efter det att proven fuktats tillsattes 12 ml Milli-Q-vatten, proven skakades och fick stå i tre dygn, varefter pH mättes med pH-mätare PHM 240 och tillhörande provväxlare.

De pH-mätta proven fick stå i en vecka, vilket var tillräcklig tid för att de fasta partiklarna skulle sedimentera. Därefter dekanterades lakvätskorna och analyserades med ICP-MS (Perkin-Elmer Elan 5000). Två prov innehöll organiskt material i vätskefasen, och uteslöt eftersom filtrering ej fungerade, detta p.g.a. att filtret snabbt blev igensatt. Bägge dessa prov uppvisade för övrigt neutrala till svagt basiska pH-värden.

Förutom analys av pH-lakvätska analyserades även 2,0 g torkat prov på salpetersyrakbar halt (7M). Salpetersyralakningen ger en sub-totalhalt, där resultaten för flera av de analyserade parametrarna antas ligga nära reell totalhalt (t.ex. Cu, P).

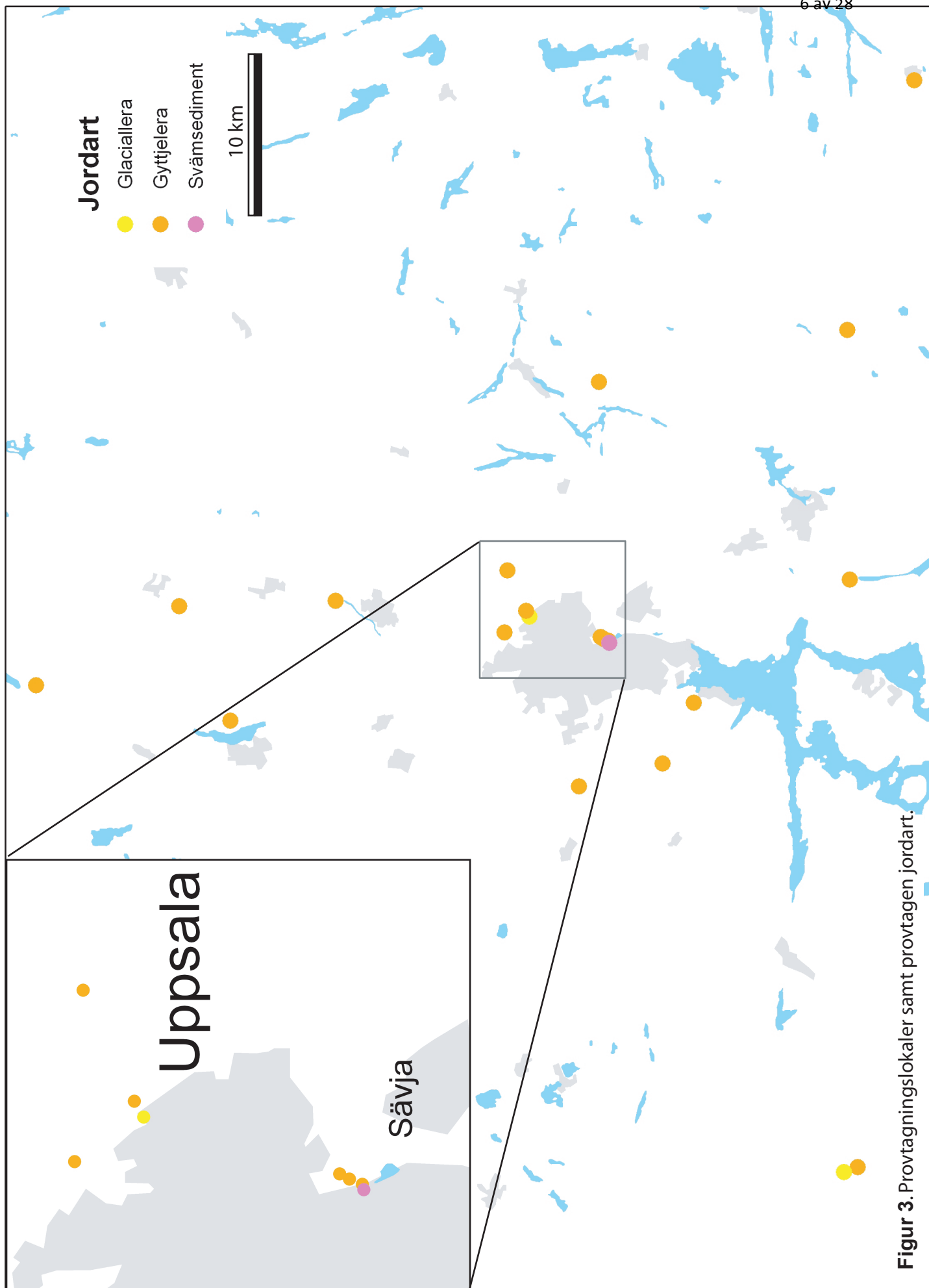
Även svavel (S) ingick i analyseringen, såväl av vattenfas som av salpetersyralakbar halt. Analyskvaliteten för S vid ICP-MS-analys är inte fullgod, men analys av referensprovet (MP1) gav resultat som låg mycket nära de som tidigare erhållits med avseende på S bedömdes kvaliteten vara tillförlitlig.

Förutom proven insamlade i de 18 lokalerna undersöktes även 11 prov från gyttjelera vid det pågående E4-bygget vid Uppsala. Dessa prov undersöktes med avseende på pH, varefter de suraste (pH <4,5) analyserades med avseende på vattenlakbar och salpetersyralakbar halt av metaller. Även dessa prov redovisas delvis i denna rapport.

Resultat

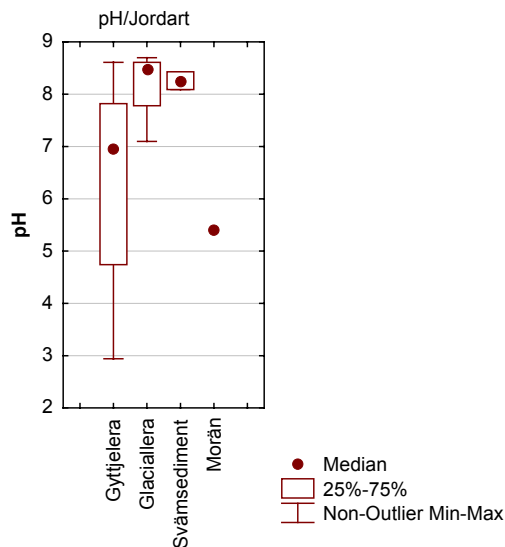
pH

pH-mätningarna visar att glacialleran och svämsedimenten håller pH-värden >7, och medianvärden är t.o.m. >8 (Figur 4). Gyttjeleran däremot har pH-värden som spänner över ett mycket brett intervall, från 2,94 till 8,61. En mer detaljerad plot (Figur 5) visar att åtta av de



2006-03-30

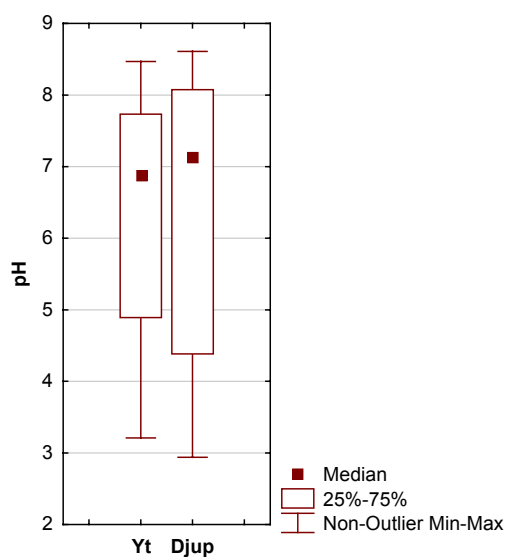
analyserade proven, liksom två av proven tagna vid E4-bygget håller ett pH-värde <4 . Detta innebär att 8 av 40 FoU-prov (dvs. 20 %) kan klassas som sura sulfatjordar enligt pH-kriteriet.



Figur 4. Boxplot över pH fördelade per jordart.

För utvecklade sura sulfatjordar anges oftast pH 4 som gränsvärde. Moränprovets förhållandevis låga pH-värde är i huvudsak en följd av grövre kornstorlek.

För att studera ev djupverkan kontrollerades pH mot djupet (Fig 6). Medianvärdet för prov tagna på 155 cm är marginellt högre än för de ytligare (55 cm) proven, dock är skillnaden inte signifikant. Låga pH-värden (<4), indikativa för sura sulfatjordar, återfinns i bägge grupperna.



Figur 6. Box plot över pH (enbart gytjelera) grupperat enligt provtagningsdjup. "Yt" = 50–60 cm, "Djup" = 150–160 cm.

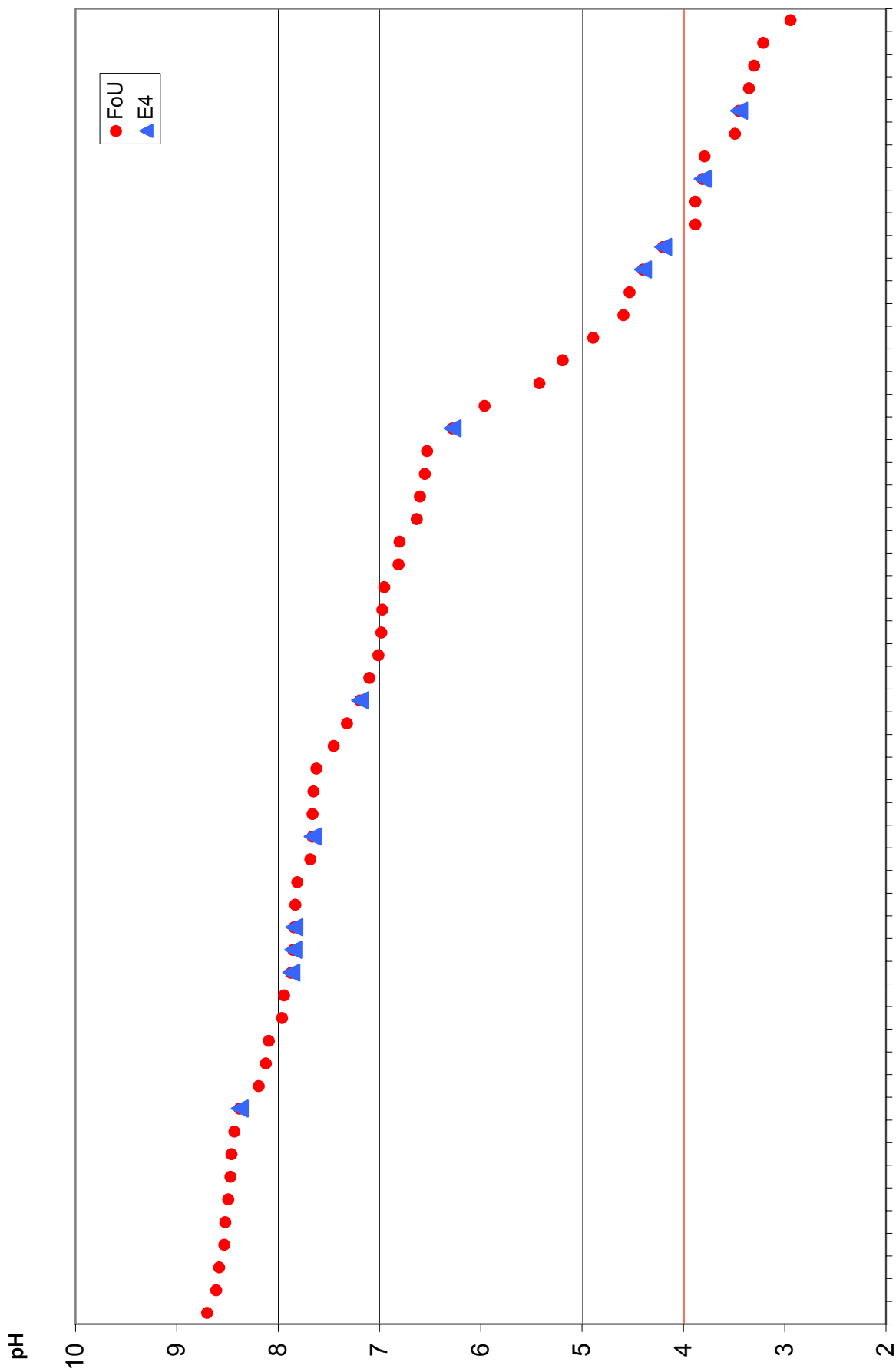


Fig 5. Uppmätta pH-värden efter vattenslammning av torkade prov, sorterade efter fallande pH

2006-03-30

Geografiskt återfinns samtliga prov med $\text{pH} < 4$ söder om Uppsala (Figur 7). På basen av dessa undersökningar är det inte möjligt att uttala sig om ifall detta är signifikant, dvs. sura sulfatjordar förekommer inte eller sparsamt norr om Uppsala, eller om det är en slump. Notabelt är att ett prov med pH strax över två finns norr om Uppsala (sydväst om Skyttorp), och detta prov innehåller strax över 0,2 % svavel.

pH -mätningarna från laboratoriet kontrollerades mot uppmätt pH i fält. Korrelationen visade sig vara obefintlig, och den använda metoden för fältbestämning av pH kan därför anses ha varit missvisande.

Salpetersyralakbara halter

Generellt antas risken för att sura sulfatjordar skall utvecklas vara förhöjd om svavelhalten i de reducerade sedimenten överstiger 0,2 %. Av 44 gyttjeleror innehöll 12 st >0,2 % S och 9 st mellan 0,1 och 0,2 %. Två av proven innehöll över 2 % S och de fyra analyserade proven från E4-bygget innehöll alla över 0,2 % S. Ingen av de övriga jordarterna översteg 0,06 % S.

Lakningen med 7M HNO_3 visade att halterna av de flesta ämnen är något förhöjda i jämförelse med andra finkorniga sediment i Sverige (Tabell 1). Endast halterna av La, Mn och Sr ligger lägre än för riksmedianen för finkorniga sediment. Speciellt höga är halterna av Cd, Mo, Cr och Se, dessa har en medianhalt som ligger dubbelt högre än riksgenomsnittet. Av dessa har Cd, Mo och Se en stark affinitet för svavel och organiska material, och anrikningen kan antas vara en effekt av att gyttjelerorna innehåller relativt höga halter av organiskt kol och sulfider. För svavel saknas tyvärr möjlighet att göra en jämförelse, men det kan konstateras att halten är nästan tio ggr högre än medianvärdet för morän (0,015 %). För många element avspeglar de relativt höga halterna regionala, geologiska förhållanden, samma element uppvisar förhöjda halter generellt i Mälarenregionens moräner.

Tabell 1. Medianhalter för de undersökta gyttjelerorna (gy) och medianhalter för finsediment (i huvudsak glaciala och postglaciala leror) från SGUs markgeokemiska kartering (r).

Element	M (gy)	M (r)	Haltsort	Element	M (gy)	M (r)	Haltsort
Ag	0,179	0,102	mg kg ⁻¹	NaO	0,0426	0,0337	%
AlO	3,3	3,2	%	Ni	31,4	16,1	mg kg ⁻¹
As	5,2	3,4	mg kg ⁻¹	PO	0,142	0,126	%
BaO	0,009	0,009	%	Pb	17	12	mg kg ⁻¹
Be	1,52	0,99	mg kg ⁻¹	Rb	53,6	44,6	mg kg ⁻¹
Bi	0,400	0,198	mg kg ⁻¹	S	0,129	-	%
CaO	0,76	0,59	%	Se	0,74	0,27	mg kg ⁻¹
Cd	0,164	0,077	mg kg ⁻¹	Sn	0,31	0,27	mg kg ⁻¹
Co	13,9	9,6	mg kg ⁻¹	Sr	22,9	23,3	mg kg ⁻¹
Cr	51,0	22,4	mg kg ⁻¹	Th	14,0	12,3	mg kg ⁻¹
Cu	23,4	16,2	mg kg ⁻¹	TiO	0,167	0,151	%
FeO	4,95	4,05	%	Tl	0,37	0,31	mg kg ⁻¹
KO	0,550	0,491	%	U	4,1	2,5	mg kg ⁻¹

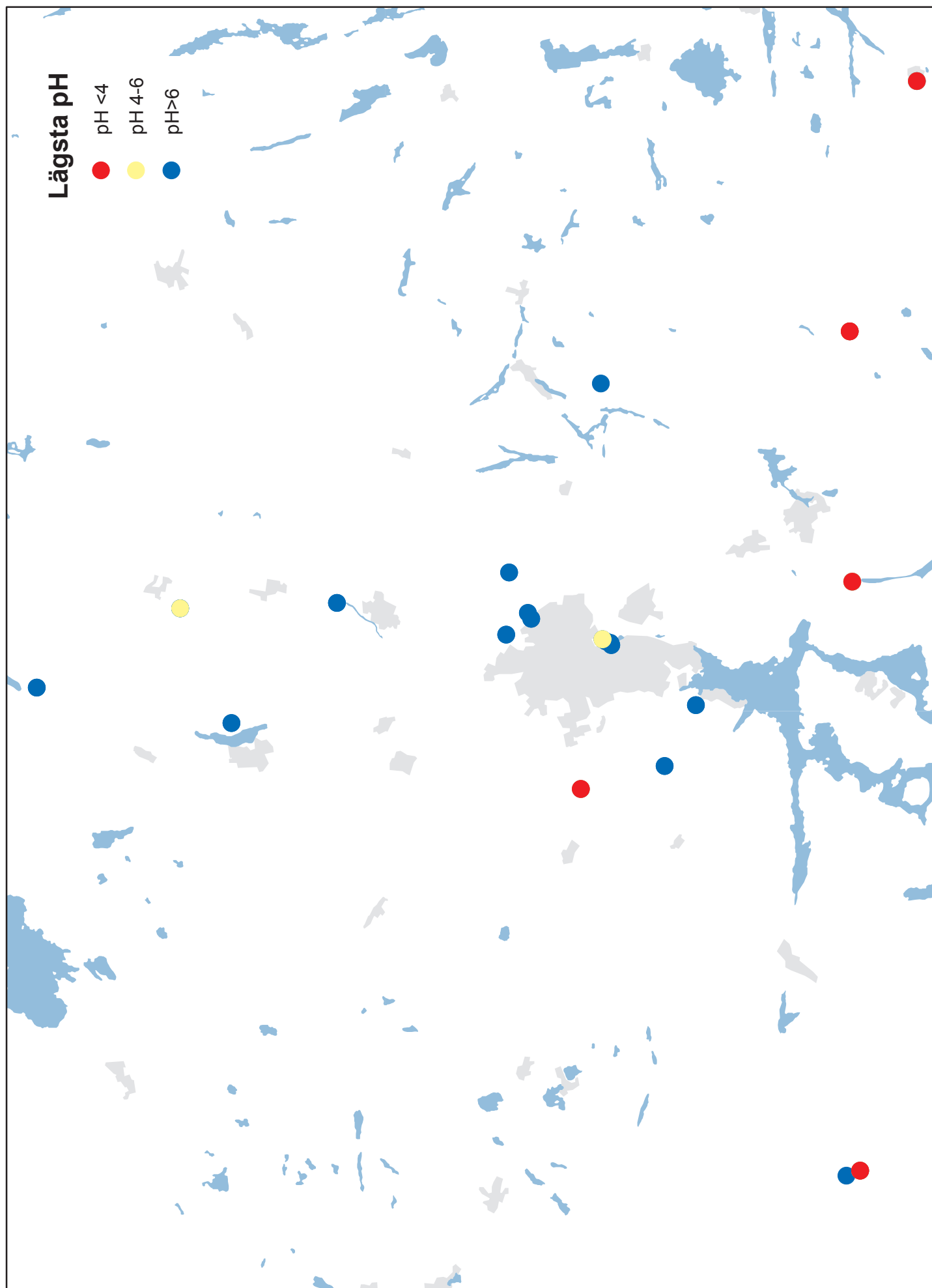
2006-03-30

La	31,7	39,7	mg kg ⁻¹	V	55,7	40,7	mg kg ⁻¹
Li	34	19	mg kg ⁻¹	W	0,082	0,046	mg kg ⁻¹
MgO	1,388	1,177	%	Y	24,4	23,1	mg kg ⁻¹
MnO	0,0509	0,0568	%	Zn	89,8	62,8	mg kg ⁻¹
Mo	0,91	0,36	mg kg ⁻¹	Zr	5,3	-	mg kg ⁻¹
n	44	1054		n	44	1054	

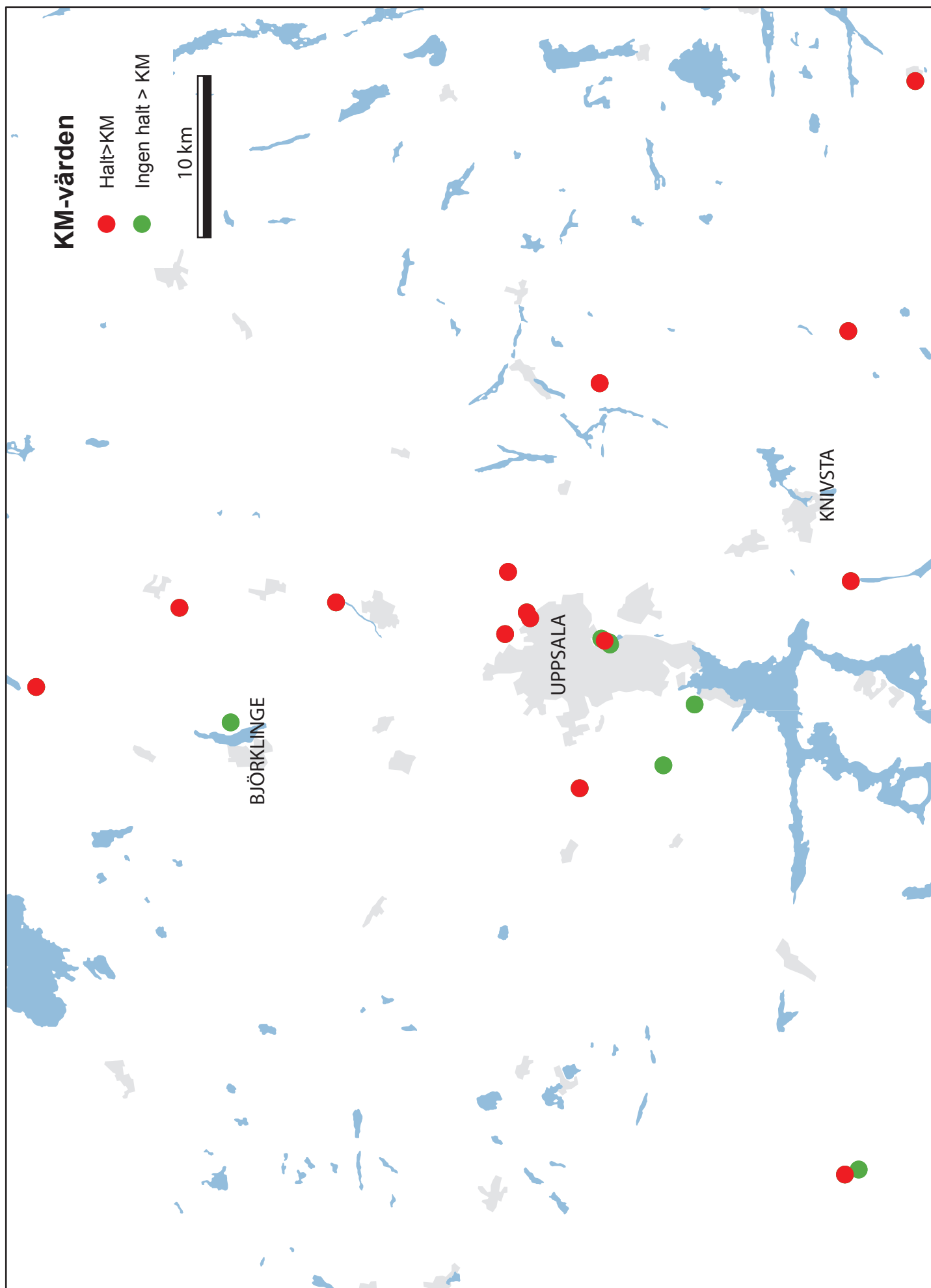
I relation till det svenska riktvärdet för förorenad mark (det s.k. KM-värdet) innehöll inget av proven värden > KM för As, Pb, V och Zn. Däremot uppvisade flera prov halter >KM-värdet för Ni, Co och/eller Cd. Av de 44 gyttejeleror som analyserades har sammanlagt 16 (dvs. mer än vart tredje prov) ett KM-värde som överstigs för ett eller fler av dessa element (Tabell 2). Värt att notera är att prov >KM påträffades vid alla utom tre lokaler (figur 8). Notabelt är att även tre st glaciala leror överskred KM-värdet för Ni (Tabell 3). Sammantaget kan man dock konstatera att metallhalterna satta i relation till morän ofta är förhöjda men på intet sätt ovanliga, det förekommer tvärtom moräner med betydligt högre halter än de metallrikaste finsedimenten som här har undersökts. Mer anmärkningsvärt är kanske att 26 av 44 prov innehåller nickelhalter över 30 mg kg⁻¹, vilket enligt Naturvårdsverkets tillståndsklasser för alv och matjord anses medföra toxiska effekter på växter. Även tre av de fyra glacialerna överstiger 30 mg kg⁻¹, och de relativt höga halterna påträffades i 18 av 20 lokaler.

I Uppland förekommer som tidigare nämnts ibland gyttejeleror med inslag av kalciumkarbonater (Wiklander & Hallgren 1949). Dessa karbonater har en syraneutraliserande effekt vilket kan förhindra att prov utvecklas till sura sulfatjordar tack vare förhöjd sulfidhalt. I figur 9 åskådliggörs sambandet mellan de salpetersyralakbara halterna av svavel, kalcium och pH i vattenlösning. Prov med pH < 5,5 kännetecknas av svavelhalter nära eller över 0,2 % och CaO-halter < 1 %. Tre prov innehåller mellan 0,2 och 2,5 % svavel, men samtidigt ligger CaO-halten > 2 %. Endast ett prov innehåller relativt höga svavelhalter och < 1 % CaO samtidigt som pH ligger på 7,2. Detta prov kan representera ett prov från reducerande förhållanden, alternativt innehålla höga halter organiskt kol (ej analyserat). För de övriga proven är bilden relativt tydlig; förhöjda svavelhalter (> ca 0,2 %) och låga kalciumhalter (< 1 % CaO) ger förhöjd risk för utvecklande av sura sulfatjordar. Det bör dock påpekas att CaO-halten inte helt avspeglar kalciumkarbonat utan även andra, mer svårakade förekomstformer. Detta är viktigt eftersom de andra förekomstformerna inte har samma buffrande förmåga. Det bör även påpekas att de olika förekomstformerna av svavel inte undersökts, huvuddelen antas föreligga som sulfid och sulfat, endast en mindre som organiskt svavel.

En fullständig förteckning över de salpetersyralakbara halterna återfinns i Bilaga 1.

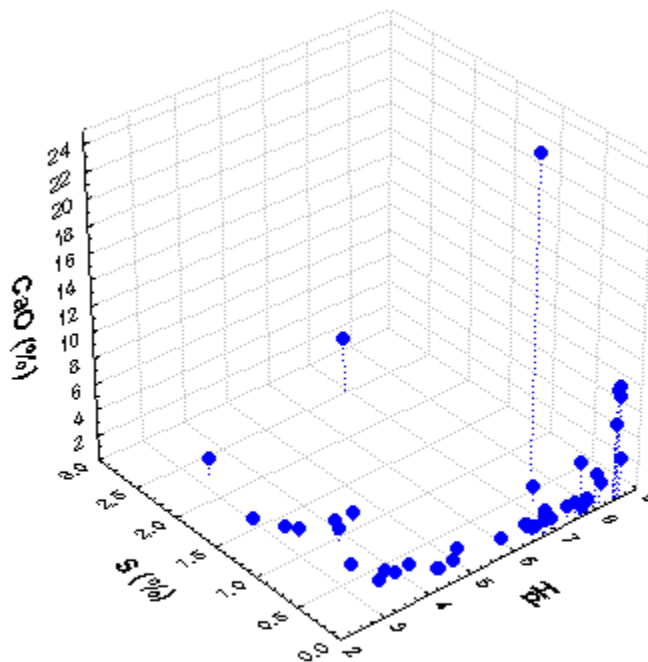


Figur 7. Lägsta pH-värde i de provtagna lokalerna.



Figur 8. Metallhalter i relation till KM-värde.

2006-03-30



Figur 9. Relation mellan pH, kalcium (CaO) och svavel (S) i gyttjeleror.

Lakvattenanalyser

Lakvatten från pH-mätningarna analyserades med avseende på innehåll av de spår- och huvudelement som ingick i salpetersyalakningen (tabell 2). Den metod som här använts påminner om ett skaktest, och resultaten bör behandlas med viss försiktighet – det är möjligt att de naturliga processerna inte ger andra resultat eftersom bl.a. tidsaspekten, temperatur, fuktighet etc. skiljer sig från laboriemiljön. Poängteras bör att det inte är möjligt att jämföra lakvattnet från denna typ av undersökningar med ytvatten i naturlig miljö, t.ex. kan förekomst av kalciumkarbonater eller andra buffertmiljöer effektivt eller delvis neutralisera lakvatten relativt nära källan. Ett sådant tänkbart exempel är förekomst av kalciumkarbonater endera i andra, intilliggande jordarter eller i en heterogen (med avseende på CaCO_3) gyttjelera. Det finns dock tecken som tyder på att kalciumkarbonater kanske inte har den

Analysresultaten kan liksom vid salpetersyalakningen uttryckas som halt i relation till fast fas, alternativt som halt i vattenlösning eller procentuell lakbarhet. Uttryckt som halt i vattenlösning uppvisar många metaller en förhöjd halt vid $\text{pH} < 4,5$ och mycket höga halter vid $\text{pH} < 3,5$, medan halterna är konstant låga vid svagt sura, neutrala och basiska pH-värden (Bilaga 2). Notabelt är att för ett antal metaller överstiger den uppmätta halten mångdubbelt riktvärdet för ytvatten (Naturvårdsverket). Även metaller som saknar riktvärden förekommer i betydande haltnivåer, t.ex. lantan, yttrium, aluminium och mangan.

2006-03-30

Uttryckt som vattenlakbar halt i relation till fast fas är halterna för många element betydligt lägre än de (sub-)totala halterna erhållna med salpetersyralakning. Om man redovisar dessa två haltbestämningar som ett procentuellt förhållande ($(H_{H_2O}/H_{7M\ HNO_3}) \cdot 100\ %$) framträder ett antal intressanta drag (figur 10). Överlag är halterna av flera element (t.ex. S, Ca, Sr och Mo) relativt lättmobiliserade. För en hel del element förekommer talrika extremvärden och "outliers", vilket är en följd av förekomst av SSJ och surt lakvatten. Detta illustreras i såväl Bilaga 2 som i figur 11, där samtliga gyttjeleror grupperats efter pH i lakvatten. I de sura lakvattnen är upp till 35 % av den s.k. totalhalten lättmobiliserad, medan motsvarande siffra för neutrala och basiska lakvatten inte överstiger 1 %.

Resultaten av lakvattenundersökningarna kan jämföras med likartade undersökningar i Finland (Åström 1996) och Sverige (Wennberg 2005). I dessa undersökningar bekräftar i stort sett de resultat som här redovisas, och haltnivåerna från laboratorietester ligger på likartade nivåer.

Tabell 2. Salpetersyralakbara halter av kobolt (Co), nickel (Ni) och kadmium (Cd) samt pH i gyttjeleror. Halterna anges i mg kg⁻¹ och värden >KM är utmärkta med gul bakgrund.

Provid	pH	Jordart	Djup	X	Y	Co	Ni	Cd
121	7,45	Gyttjelera	50-60	6609764	1601749	8,9	21,3	0,11
221	8,58	Gyttjelera	150-160	6609764	1601749	16,7	36,6	0,17
120	5,96	Gyttjelera	50-60	6610800	1586018	13,5	28,1	0,26
220	6,6	Gyttjelera	150-160	6610800	1586018	13,2	25,7	0,09
116	7,01	Gyttjelera	50-60	6617550	1638470	16,5	34,5	0,30
216	3,88	Gyttjelera	150-160	6617550	1638470	17,6	42,3	0,46
118	3,88	Gyttjelera	50-60	6621012	1571976	8,0	15,2	0,05
218	3,49	Gyttjelera	150-160	6621012	1571976	10,8	21,9	0,06
114	4,53	Gyttjelera	50-60	6621501	1607933	12,2	29,2	0,15
214	3,35	Gyttjelera	150-160	6621501	1607933	21,8	43,4	0,50
115	3,21	Gyttjelera	50-60	6621650	1623208	10,5	23,6	0,13
215	3,3	Gyttjelera	150-160	6621650	1623208	29,8	60,3	0,26
117	6,98	Gyttjelera	50-60	6631042	1600389	13,2	22,4	0,22
217	7,65	Gyttjelera	150-160	6631042	1600389	16,2	30,6	0,22
122	7,83	Gyttjelera	50-60	6632936	1596662	16,5	26,9	0,26
222	7,62	Gyttjelera	150-160	6632936	1596662	15,2	32,0	0,13
110	8,12	Gyttjelera	50-60	6636249	1604179	14,8	30,8	0,18
210	7,96	Gyttjelera	150-160	6636249	1604179	14,3	31,3	0,20
109	6,63	Gyttjelera	50-60	6636537	1604292	42,9	38,0	0,18
209	6,53	Gyttjelera	150-160	6636537	1604292	12,9	31,4	0,11
108	4,59	Gyttjelera	50-60	6636753	1604408	11,3	24,1	0,08
208	4,89	Gyttjelera	150-160	6636753	1604408	12,5	28,6	0,10

113	6,8	Gyttjelera	50-60	6636837	1620015	22,4	52,7	0,20
213	8,53	Gyttjelera	150-160	6636837	1620015	18,4	41,5	0,17
123	3,79	Gyttjelera	50-60	6638057	1595270	8,7	19,0	0,07
223	2,94	Gyttjelera	150-160	6638057	1595270	17,3	35,3	0,24
107	7,66	Gyttjelera	50-60	6641309	1606020	13,4	31,8	0,11
207	8,61	Gyttjelera	150-160	6641309	1606020	18,1	44,0	0,20
112	7,94	Gyttjelera	50-60	6642447	1608481	13,5	36,5	0,25
212	6,95	Gyttjelera	150-160	6642447	1608481	16,9	43,4	0,31
105	6,81	Gyttjelera	50-60	6642635	1604680	14,8	28,5	0,13
205	6,55	Gyttjelera	150-160	6642635	1604680	12,8	35,9	0,16
104	7,81	Gyttjelera	50-60	6652959	1606622	16,8	32,0	0,12
204	7,68	Gyttjelera	150-160	6652959	1606622	18,1	41,4	0,17
101	6,97	Gyttjelera	50-60	6659413	1599292	30,7	33,2	0,15
201	7,32	Gyttjelera	150-160	6659413	1599292	12,5	29,8	0,12
103	5,19	Gyttjelera	50-60	6662524	1606290	6,4	14,9	0,05
203	8,19	Gyttjelera	150-160	6662524	1606290	21,8	51,3	0,24
102	8,47	Gyttjelera	50-60	6671279	1601458	13,1	31,3	0,17
202	8,49	Gyttjelera	150-160	6671279	1601458	16,3	39,1	0,17
6	4,2	Gyttjelera		E4		10,3	22,5	0,07
7	3,45	Gyttjelera		E4		6,8	16,1	0,05
8	4,4	Gyttjelera		E4		12,3	32,1	0,16
10	3,81	Gyttjelera		E4		6,3	13,9	0,05

Tabell 3. Salpetersyralakbara halter av kobolt, nickel och kadmium samt pH i glacialleror, svämsediment och morän (mg kg⁻¹). Halter >KM utmärkta med gul bakgrund.

Provid	pH	Jordart	Djup	X	Y	Co	Ni	Cd
111	8,09	Svämsed.	50-60	6636215	1604058	11,3	21,6	0,16
211	8,43	Svämsed.	150-160	6636215	1604058	11,2	20,5	0,14
119	7,1	Glaciallera	50-60	6621856	1571671	20,3	45,3	0,19
219	8,52	Glaciallera	150-160	6621856	1571671	16,4	29,2	0,16
106	8,46	Glaciallera	50-60	6641101	1605668	15,2	37,1	0,17
206	8,7	Glaciallera	150-160	6641101	1605668	14,0	35,1	0,15
998		Morän				12,6	23,7	0,04
999	5,42	Morän				11,7	22,0	0,04

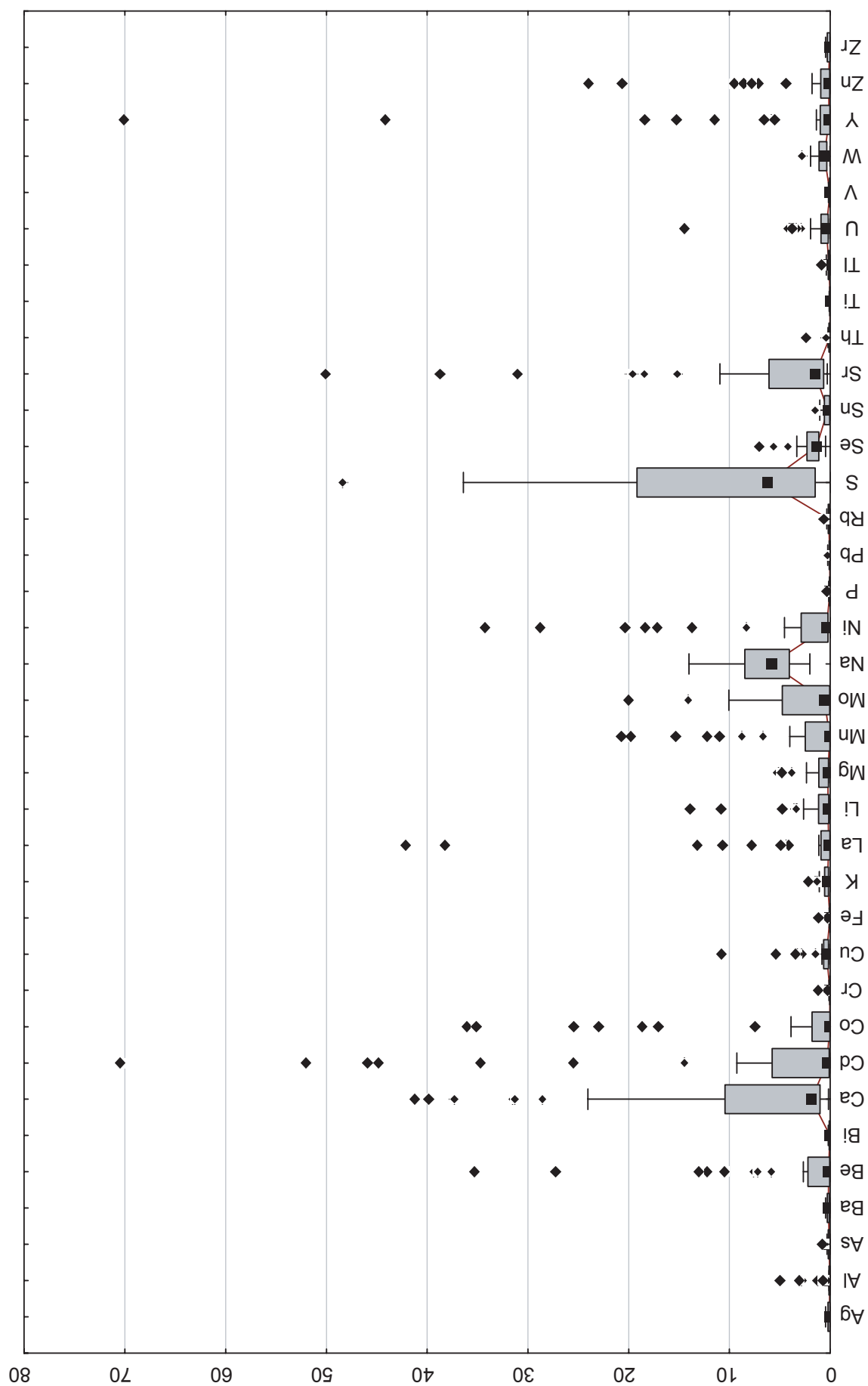
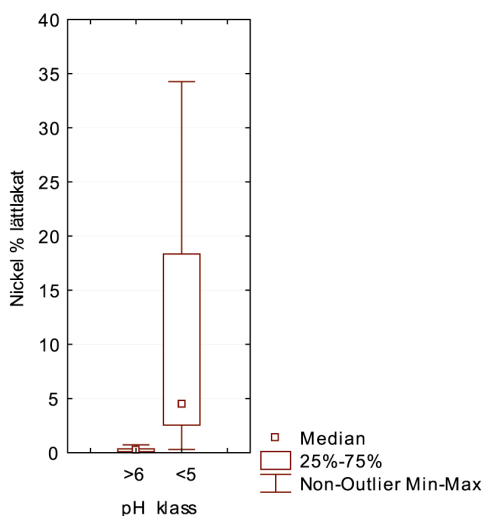


Fig 10. Boxplot över lakbarhet ("totalhalt"/vattenlakbar halt, %) för de analyserade elementen. Extremvärden och outliers som romber.

2006-03-30



Figur 11. Procentuell lakbarhet för nickel (Ni) i gyttjeleror, indelat i pH-klasser.

Slutsatser och diskussion

Det står helt klart att jordarterna i flera av de provtagna lokalerna kan klassas som sura sulfatjordar. Dessutom visar relativt höga svavelhalter att en del av de analyserade proven kan betraktas som potentiella SSJ, men vidare undersökningar krävs för att fastställa om de verkligen kan bilda sura sulfatjordar vid oxidation. Metallhalterna är överlag relativt ”normala” för geologiskt material, även de svavelfattiga glacialerorna innehåller ungefär lika höga halter av de flesta metaller. För framförallt nickel, men även kobolt och kadmium förekommer relativt ofta halter över KM-värdet.

Det står också klart att flera av elementen är relativt lättmobiliserade, förutom svavel mobiliseras även nickel, yttrium, litium, kobolt, lantan, aluminium, zink, kadmium, mangan, kalcium, magnesium, strontium, volfram, krom, rubidium, selen, tallium, uran, torium, järn och beryllium vid de låga pH-värden som påträffades. Det finns dock stora skillnader, för t.ex. tallium, volfram och rubidium ökar halten i lakvattnet med endast 2–4 ggr jämfört med vatten från neutrala/basiska gyttjeleror medan t.ex. yttrium och nickel ökar med två till tre tiopotenser. För flera metaller ligger halten i lakvattnet betydligt över Naturvårdsverkets riktvärden för förorenat ytvatten. Flera av de analyserade elementen uppvisar ingen tendens till ökad mobilitet i vatten från SSJ; arsenik, bly, vanadin, molybden, zirkonium, silver, tenn, vismut, barium, titan, kalium, fosfor och natrium.

Undersökningen visade att själva identifieringen av sura sulfatjordar inte är något större problem, för detta räcker ofta en visuell granskning av provmaterialet samt en enkel pH-mätning. Det är en stor fördel om materialet testas under laboratorieförhållanden. Problem med identifiering uppstår däremot med jordar som kan klassas som *potentiellt* sura sulfatjordar, och hur man särskiljer dessa från jordar som *inte* kan utvecklas till SSJ tack vare tillräcklig buffertkapacitet (NNP).

En nyckelfaktor vid byggnation eller andra ingrepp i (potentiella) SSJ torde vara att utföra en gedigen förundersökning. Information från SGUs jordartskartor, biogeokemiska

2006-03-30

kartläggning samt geofysiskt underlag är ett bra första steg (Sohlenius m.fl. 2004). Det är möjligt att nämnda underlag kan kombineras, kanske även i viss utsträckning kan underlagen kombinerade på rätt sätt särskilja SSJ från potentiella SSJ. Ett antal problem kvarstår dock, t.ex. förekomst av (möjligen) buffrande kalciumkarbonater. Även om kalciumkarbonat förekommer kan faktorer som sprickbildning, kornstorlek, heterogen fördelning m.fl. dock innebära att surt, metallrikt lakvatten frigörs. En annan fråga är vad som händer i själva ytvattensystemen, dvs. hur uppträder metallerna i det sura lakvattnet när det så småningom blandas med välbuffrat ytvatten.

Möjligen finns det ett behov av en SSJ-manual liknande den som framställts och anpassats för SSJ i andra delar av världen (Dent & Dawson). Oavsett hur väl man lyckas med fältidentifieringen finns sannolikt ett behov av laboratorietester, framför allt avseende innehåll av svavel, organiskt kol och – i regioner där så förekommer – karbonater.

Referenser

- Brinkman, R., & Pons, L.J. 1973. Recognition and prediction of acid sulphate soil conditions. p. 169–203. I H. Dost (red.) *Acid sulphate soils. Int. Land Rec. Inst. Pub. 18*. Wageningen, The Netherlands.
- Byrsten, S. & Sandberg, A. 2005. Metaller och fisk i Persöfjärden: en undersökning av metallhalter i fisk och ytvatten BSc programme in Environmental and Quality Management / 2005:03, Luleå Tekniska Universitet.
- Dent, D. & Dawson, B. ?. THE ACID TEST - an expert system for acid sulphate soils. <http://www.isric.org/Isric/Webdocs/AcidSKit/identman.pdf>.
- Dent, D.L. & Pons, L.J. 1995. A world perspective on acid sulphate soils. *Geoderma* 67, 263–276.
- Fromm, E. 1965. Beskrivning till jordartskartan över Norrbottens län nedanför lappmarksgränsen. *Sveriges geologiska undersökning Ca 39*, 236 s.
- Granlund, E. 1943: Beskrivning till jordartskarta över Västerbottens län nedanför odlingsgränsen. *Sveriges geologiska undersökning Ca 26*, 165 s.
- Järnefors, B. 1958: Beskrivning till jordartskartan över Uppsalatrakten. SGU Ba 15. 46 pp.
- Lax, K., 2005. Stream plant chemistry as indicator of acid sulphate soils in Sweden. *Agricultural and Food Science* 14, 83–87.
- Mácsik, J. Försurningspotential i sulfidjord – Metodutveckling/förstudie. Luleå tekniska universitet.
- Manngård, B. 1997. Sulfidhaltiga lerors inverkan på vattenkemin i två tillflöden till Sörfjärden, Mälaren. Examensarbete – Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, avd. för marklära och ekokemi .
- Sohlenius, G., Persson, L., Lax, K., Andersson, L. & Daniels, J. 2004. Förekomsten av sulfidhaltiga postglacial sediment. *Slutrapport FoU projekt. SGU-rapport 2004:9*.
- Sohlenius, G. & Öborn, I., 2004. Geochemistry and partitioning of trace elements in acid sulphate soils in Sweden and Finland before and after sulphide oxidation. *Geoderma* 122, 167–175.

2006-03-30

- Sundström, R., Åström, M. & Österholm, P. 2002. Comparison of the Metal Content in Acid Sulfate Soil Runoff and Industrial Effluents in Finland. *Environmental Science and Technology* 36; (20), 4269–4272.
- Wennberg, 2005. Uppsala universitet (opublicerade resultat).
- Wiklander, L. & Hallgren, G., 1949. Studies on gyttja soils, I. Distribution of different forms of iron, manganese, and calcium carbonate in a profile from Kungsängen. *Ann. Roy. Agr. Coll. Swed.* 16, 811–867.
- Yli-Halla, M. & Palko, J. 1987. Mineral element content of oats (*Avena sativa* L.) in an acid sulphate soil area of Tupos village, northern Finland. *Journal of Agricultural Food Science in Finland* 59, 7378.
- Åström, M. 1996. *Geochemistry, chemical reactivity and extent of leaching of sulphide-bearing fine-grained sediments in Southern Ostrobothnia, Western Finland*. PhD theses, Department of Geology and Mineralogy, Åbo Akademi University.
- Åström, M. & Björklund, A. 1996. Hydrogeochemistry of a stream draining sulfide-bearing postglacial sediments in Finland. *Water, Air and Soil Pollution* 89, 233–246.
- Åström, M. & Björklund, A. 1997. Geochemistry and acidity of sulphide-bearing postglacial sediments of western Finland. *Environmental Geochemistry and Health Volume 19, Issue 4*, 155–164.
- Öborn, I. 1989: Properties and classification of some acid sulfate soils in Sweden. *Geoderma* 45, 197–219.
- Öborn, I. 1994. Morphology, chemistry, mineralogy, and fertility of some acid sulfate soils in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, *Department of Soil Sciences*, 18, 46 s.

Provid	Djup	Jordart	Lokal	EW	NS	pH	Na2O	MgO	Al2O3	P2O5	K2O
101	50-60	Gyttjeler	Björklinge	1599292	6659413	7.0	0.052	1.34	1.82	0.125	0.24
201	150-160	Gyttjeler	Björklinge	1599292	6659413	7.3	0.045	1.18	1.50	0.138	0.22
102	50-60	Gyttjeler	Vendel	1601458	6671279	8.5	0.044	1.32	1.49	0.122	0.21
202	150-160	Gyttjeler	Vendel	1601458	6671279	8.5	0.048	1.74	1.79	0.129	0.30
103	50-60	Gyttjeler	Örkälla	1606290	6662524	5.2	0.030	0.96	1.14	0.165	0.19
203	150-160	Gyttjeler	Örkälla	1606290	6662524	8.2	0.073	2.19	2.46	0.142	0.44
104	50-60	Gyttjeler	Uggelsta	1606622	6652959	7.8	0.047	1.41	1.93	0.079	0.17
204	150-160	Gyttjeler	Uggelsta	1606622	6652959	7.7	0.052	1.60	2.02	0.122	0.29
105	50-60	Gyttjeler	Nyby	1604680	6642635	6.8	0.037	1.19	1.80	0.092	0.15
205	150-160	Gyttjeler	Nyby	1604680	6642635	6.6	0.041	1.23	1.39	0.124	0.24
106	50-60	Glaciallera	Vaksala	1605668	6641101	8.5	0.045	1.57	1.82	0.148	0.34
206	150-160	Glaciallera	Vaksala	1605668	6641101	8.7	0.039	1.53	1.50	0.127	0.29
107	50-60	Gyttjeler	Vaksala	1606020	6641309	7.7	0.043	1.37	1.58	0.164	0.29
207	150-160	Gyttjeler	Vaksala	1606020	6641309	8.6	0.050	1.78	2.05	0.160	0.37
108	50-60	Gyttjeler	Kungsängen	1604408	6636753	4.6	0.059	1.48	1.96	0.115	0.31
208	150-160	Gyttjeler	Kungsängen	1604408	6636753	4.9	0.062	1.49	1.85	0.165	0.30
109	50-60	Gyttjeler	Kungsängen	1604292	6636537	6.6	0.071	1.74	2.15	0.120	0.30
209	150-160	Gyttjeler	Kungsängen	1604292	6636537	6.5	0.070	1.63	1.83	0.230	0.33
110	50-60	Gyttjeler	Kungsängen	1604179	6636249	8.1	0.046	1.40	1.54	0.152	0.19
210	150-160	Gyttjeler	Kungsängen	1604179	6636249	8.0	0.053	1.43	1.53	0.143	0.21
111	50-60	Svåmsed.	Kungsängen	1604058	6636215	8.1	0.030	0.98	1.09	0.151	0.11
211	150-160	Svåmsed.	Kungsängen	1604058	6636215	8.4	0.030	0.97	1.09	0.177	0.11
112	50-60	Gyttjeler	Skölsta	1608481	6642447	7.9	0.052	0.62	0.52	0.264	0.08
212	150-160	Gyttjeler	Skölsta	1608481	6642447	7.0	0.113	1.04	1.11	0.249	0.21
113	50-60	Gyttjeler	Trehörningen	1620015	6636837	6.8	0.065	2.15	2.80	0.110	0.46
213	150-160	Gyttjeler	Trehörningen	1620015	6636837	8.5	0.053	1.77	1.95	0.114	0.35
114	50-60	Gyttjeler	Vassunda	1607933	6621501	4.5	0.063	1.83	2.37	0.185	0.37
214	150-160	Gyttjeler	Vassunda	1607933	6621501	3.4	0.064	1.67	1.95	0.166	0.33
115	50-60	Gyttjeler	Nederäng	1623208	6621650	3.2	0.064	1.29	1.55	0.201	0.35
215	150-160	Gyttjeler	Nederäng	1623208	6621650	3.3	0.133	1.96	1.83	0.173	0.35
116	50-60	Gyttjeler	Kårsta	1638470	6617550	7.0	0.048	1.66	1.98	0.207	0.31
216	150-160	Gyttjeler	Kårsta	1638470	6617550	3.9	0.057	1.37	1.47	0.191	0.28
117	50-60	Gyttjeler	Uppsala Näs	1600389	6631042	7.0	0.035	1.05	1.35	0.143	0.16
217	150-160	Gyttjeler	Uppsala Näs	1600389	6631042	7.7	0.047	1.29	1.49	0.138	0.25
118	50-60	Gyttjeler	Rotbrunna	1571976	6621012	3.9	0.032	1.19	1.41	0.138	0.19
218	150-160	Gyttjeler	Rotbrunna	1571976	6621012	3.5	0.043	1.48	1.79	0.143	0.29
119	50-60	Glaciallera	Rotbrunna	1571671	6621856	7.1	0.047	2.08	2.92	0.109	0.37
219	150-160	Glaciallera	Rotbrunna	1571671	6621856	8.5	0.062	1.87	2.36	0.131	0.28
120	50-60	Gyttjeler	Ekolsund	1586018	6610800	6.0	0.045	1.16	1.53	0.151	0.20
220	150-160	Gyttjeler	Ekolsund	1586018	6610800	6.6	0.074	1.67	2.05	0.152	0.33
121	50-60	Gyttjeler	Håbo-Tibble	1601749	6609764	7.5	0.044	1.33	1.60	0.107	0.22
221	150-160	Gyttjeler	Håbo-Tibble	1601749	6609764	8.6	0.070	1.83	2.03	0.110	0.35
122	50-60	Gyttjeler	Vångdalen	1596662	6632936	7.8	0.032	1.17	1.74	0.140	0.24
222	150-160	Gyttjeler	Vångdalen	1596662	6632936	7.6	0.047	1.34	1.50	0.131	0.24
123	50-60	Gyttjeler	Läby	1595270	6638057	3.8	0.036	1.32	1.55	0.160	0.29
223	150-160	Gyttjeler	Läby	1595270	6638057	2.9	0.056	1.56	1.79	0.147	0.33
999	100	Morän	Vittangi	1730020	7512794	5.4	0.032	1.04	1.25	0.275	0.15
224	100	Morän	Vittangi	1730020	7512794	5.4	0.032	1.04	1.24	0.272	0.15
E4_6	*	Gyttjeler	E4	*	*	4.2	0.039	1.32	1.60	0.173	0.27
E4_7	*	Gyttjeler	E4	*	*	3.5	0.030	1.06	1.31	0.116	0.24
E4_8	*	Gyttjeler	E4	*	*	4.4	0.043	1.41	1.50	0.142	0.27
E4_10	*	Gyttjeler	E4	*	*	3.8	0.042	1.02	1.02	0.123	0.22

Halt

%

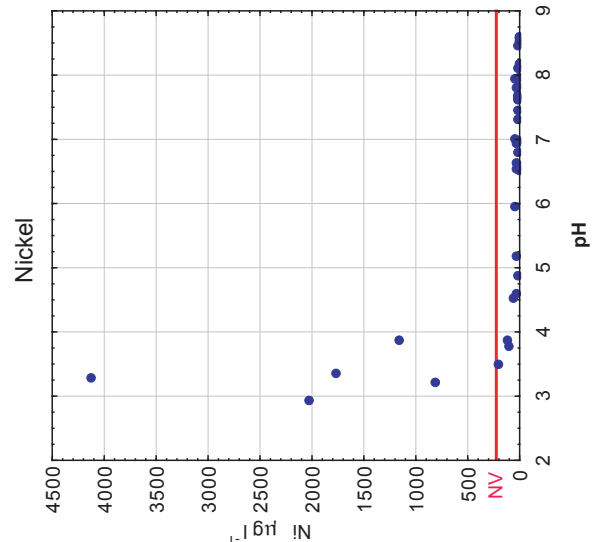
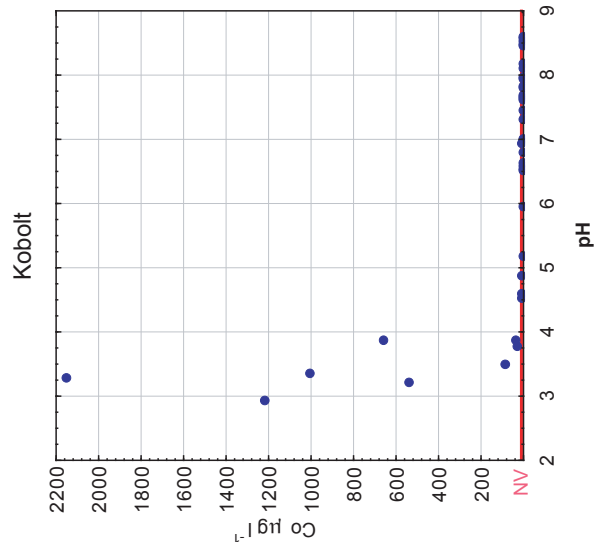
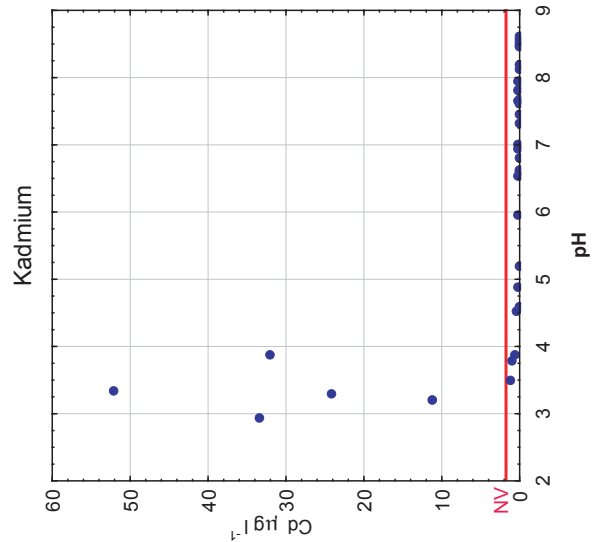
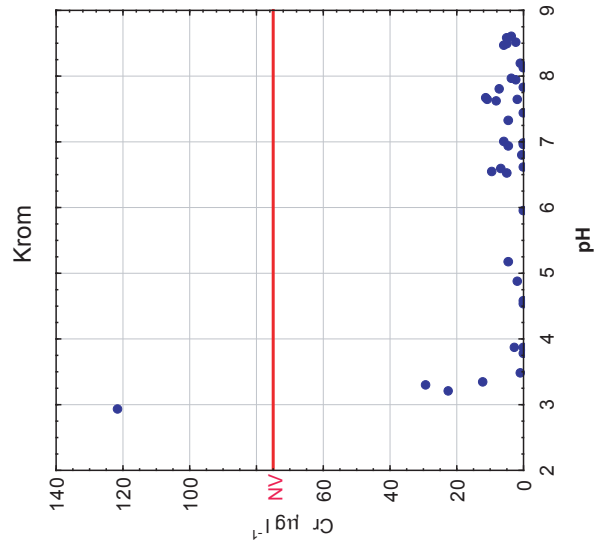
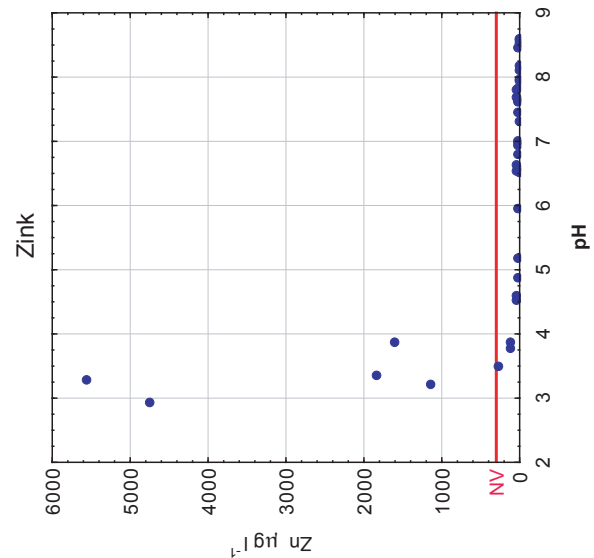
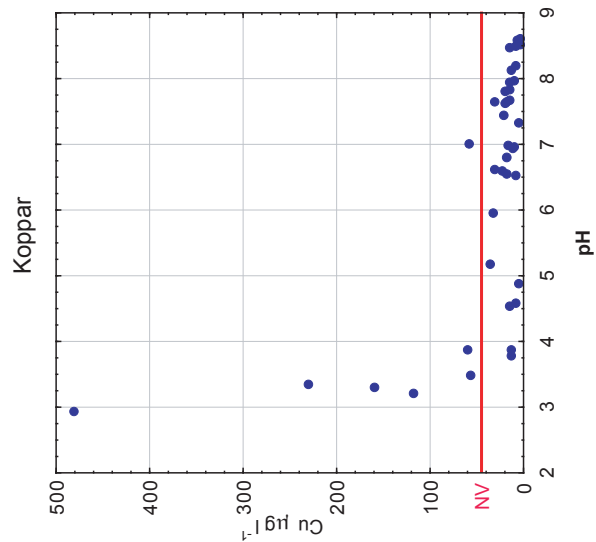
Provid	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	BaO	S	Li	Be	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As
101	0.8	0.091	0.130	2.23	0.0101	0.115	44.2	2.12	53.3	51.6	30.7	33.2	15.8	98.3	5.68
201	1.1	0.074	0.042	2.05	0.0087	0.415	31.2	2.04	38.7	36.7	12.5	29.8	21.7	83.5	4.71
102	5.8	0.089	0.049	1.89	0.0109	0.036	32.9	1.27	54.2	47.7	13.1	31.3	26.4	69.8	5.72
202	8.3	0.102	0.070	2.18	0.0139	0.039	42.1	1.32	58.6	54.5	16.3	39.1	30.0	87.3	4.45
103	0.4	0.075	0.023	2.76	0.0136	0.262	19.7	0.59	52.5	43.2	6.4	14.9	24.9	48.5	6.31
203	1.6	0.121	0.076	3.17	0.0234	0.056	62.6	1.78	79.2	80.6	21.8	51.3	43.1	126.6	7.70
104	0.9	0.087	0.067	2.48	0.0113	0.031	30.7	1.76	56.5	58.7	16.8	32.0	23.5	76.4	4.69
204	0.8	0.099	0.061	2.84	0.0118	0.034	41.2	1.51	61.4	59.1	18.1	41.4	32.0	98.3	6.57
105	1.0	0.059	0.060	2.58	0.0112	0.039	30.8	1.92	61.8	56.5	14.8	28.5	23.2	79.4	5.12
205	0.7	0.069	0.039	1.63	0.0093	0.118	32.5	1.34	42.0	42.3	12.8	35.9	24.3	90.1	5.58
106	13.4	0.090	0.084	2.15	0.0125	0.063	45.7	1.48	64.7	59.1	15.2	37.1	22.7	77.7	3.94
206	16.8	0.076	0.089	1.90	0.0108	0.050	42.7	1.14	50.5	47.1	14.0	35.1	20.2	66.8	3.14
107	0.7	0.080	0.045	2.23	0.0102	0.038	36.0	1.60	54.9	51.2	13.4	31.8	19.0	82.2	5.83
207	2.9	0.111	0.094	2.64	0.0146	0.027	48.6	1.68	64.3	61.0	18.1	44.0	33.3	99.0	6.35
108	0.3	0.098	0.037	2.57	0.0078	0.179	38.4	1.64	66.1	64.0	11.3	24.1	26.8	97.4	5.04
208	0.4	0.089	0.042	2.15	0.0072	0.161	42.5	1.52	62.5	57.7	12.5	28.6	26.3	94.0	6.66
109	0.6	0.101	0.164	2.85	0.0109	0.078	55.7	2.73	67.3	65.6	42.9	38.0	25.9	123.0	5.10
209	0.6	0.089	0.050	2.62	0.0087	0.133	44.4	1.56	59.6	57.8	12.9	31.4	23.3	94.3	6.75
110	2.2	0.085	0.058	2.18	0.0105	0.075	33.1	1.42	51.4	48.3	14.8	30.8	23.3	93.4	2.71
210	3.0	0.083	0.059	1.86	0.0108	0.175	35.0	1.29	45.9	45.0	14.3	31.3	27.7	102.4	2.88
111	2.1	0.061	0.078	1.50	0.0082	0.049	22.6	1.01	38.4	33.5	11.3	21.6	21.3	68.4	2.87
211	3.1	0.063	0.085	1.53	0.0077	0.034	21.3	0.88	35.2	29.0	11.2	20.5	35.1	69.2	3.05
112	24.0	0.023	0.051	1.47	0.0086	0.726	9.7	0.83	26.1	21.3	13.5	36.5	28.4	52.6	3.08
212	4.2	0.050	0.040	1.97	0.0069	2.530	24.3	1.17	37.7	37.5	16.9	43.4	51.2	93.1	3.97
113	1.0	0.121	0.057	3.22	0.0200	0.046	68.9	2.37	90.3	91.4	22.4	52.7	39.2	119.0	4.09
213	8.6	0.096	0.074	2.39	0.0124	0.037	53.2	1.59	61.7	61.0	18.4	41.5	28.1	93.2	2.82
114	0.5	0.117	0.050	3.18	0.0100	0.164	42.7	1.87	78.0	68.8	12.2	29.2	35.6	96.9	7.68
214	0.5	0.099	0.051	2.74	0.0082	1.209	48.4	1.66	64.3	61.3	21.8	43.4	35.1	107.0	6.37
115	0.5	0.098	0.039	3.98	0.0093	1.308	26.1	0.98	64.7	57.3	10.5	23.6	20.7	60.4	8.28
215	1.1	0.091	0.115	2.94	0.0069	2.308	54.8	2.48	59.0	55.8	29.8	60.3	23.1	134.5	6.43
116	1.0	0.091	0.062	3.12	0.0086	0.138	33.5	1.89	58.7	59.5	16.5	34.5	35.7	99.9	6.81
216	1.1	0.077	0.046	2.71	0.0068	1.055	37.6	1.75	49.3	50.7	17.6	42.3	38.8	112.3	7.48
117	0.7	0.070	0.062	1.89	0.0073	0.054	24.4	1.48	44.6	40.1	13.2	22.4	21.7	80.1	4.08
217	0.7	0.076	0.067	2.23	0.0078	0.030	32.9	1.40	46.6	44.3	16.2	30.6	22.4	89.3	4.82
118	0.4	0.086	0.034	2.86	0.0080	0.330	23.8	1.00	60.2	44.2	8.0	15.2	15.8	62.1	5.23
218	0.5	0.106	0.043	2.46	0.0094	0.323	34.1	1.10	56.6	48.6	10.8	21.9	19.0	77.3	5.58
119	0.8	0.115	0.071	3.32	0.0193	0.052	56.0	2.27	82.0	81.5	20.3	45.3	38.7	118.9	5.49
219	1.6	0.136	0.087	2.62	0.0129	0.022	45.9	1.66	67.6	52.1	16.4	29.2	28.9	97.5	4.75
120	0.5	0.086	0.046	2.47	0.0073	0.126	26.0	1.74	61.5	47.4	13.5	28.1	23.8	72.6	9.77
220	0.6	0.111	0.048	2.83	0.0074	0.092	39.8	1.52	69.3	60.9	13.2	25.7	23.2	89.5	6.68
121	0.8	0.086	0.037	2.22	0.0075	0.092	31.2	1.01	50.3	45.2	8.9	21.3	20.0	63.2	7.46
221	7.6	0.103	0.079	2.40	0.0082	0.051	54.5	1.63	62.4	56.6	16.7	36.6	27.6	92.6	3.55
122	1.0	0.053	0.118	2.31	0.0113	0.044	25.0	1.82	45.3	49.7	16.5	26.9	19.0	101.8	3.72
222	0.8	0.076	0.058	2.10	0.0079	0.083	35.4	1.42	47.2	44.5	15.2	32.0	22.0	85.2	4.16
123	0.3	0.088	0.035	2.82	0.0082	0.416	28.6	0.88	54.8	49.0	8.7	19.0	20.3	65.8	4.95
223	0.4	0.097	0.064	2.83	0.0069	1.549	40.7	1.53	53.7	51.9	17.3	35.3	22.3	98.8	6.34
999	0.5	0.101	0.028	1.25	0.0102	0.031	13.4	0.64	46.0	32.3	11.7	22.0	33.1	23.0	1.27
224	0.5	0.101	0.029	1.24	0.0097	0.013	14.9	0.64	44.4	31.5	12.6	23.7	36.4	23.9	1.32
E4_6	0.4	0.083	0.047	2.73	0.0100	0.336	29.0	1.14	39.1	37.1	10.3	22.5	18.3	65.4	5.02
E4_7	0.3	0.074	0.030	5.26	0.0061	0.630	23.3	0.64	38.9	37.8	6.8	16.1	15.8	55.5	4.73
E4_8	0.8	0.080	0.058	2.23	0.0090	1.090	32.0	1.27	36.7	37.4	12.3	32.1	22.5	80.9	4.95
E4_10	1.0	0.067	0.029	2.02	0.0080	0.964	20.3	0.51	29.1	25.4	6.3	13.9	11.9	43.5	4.16

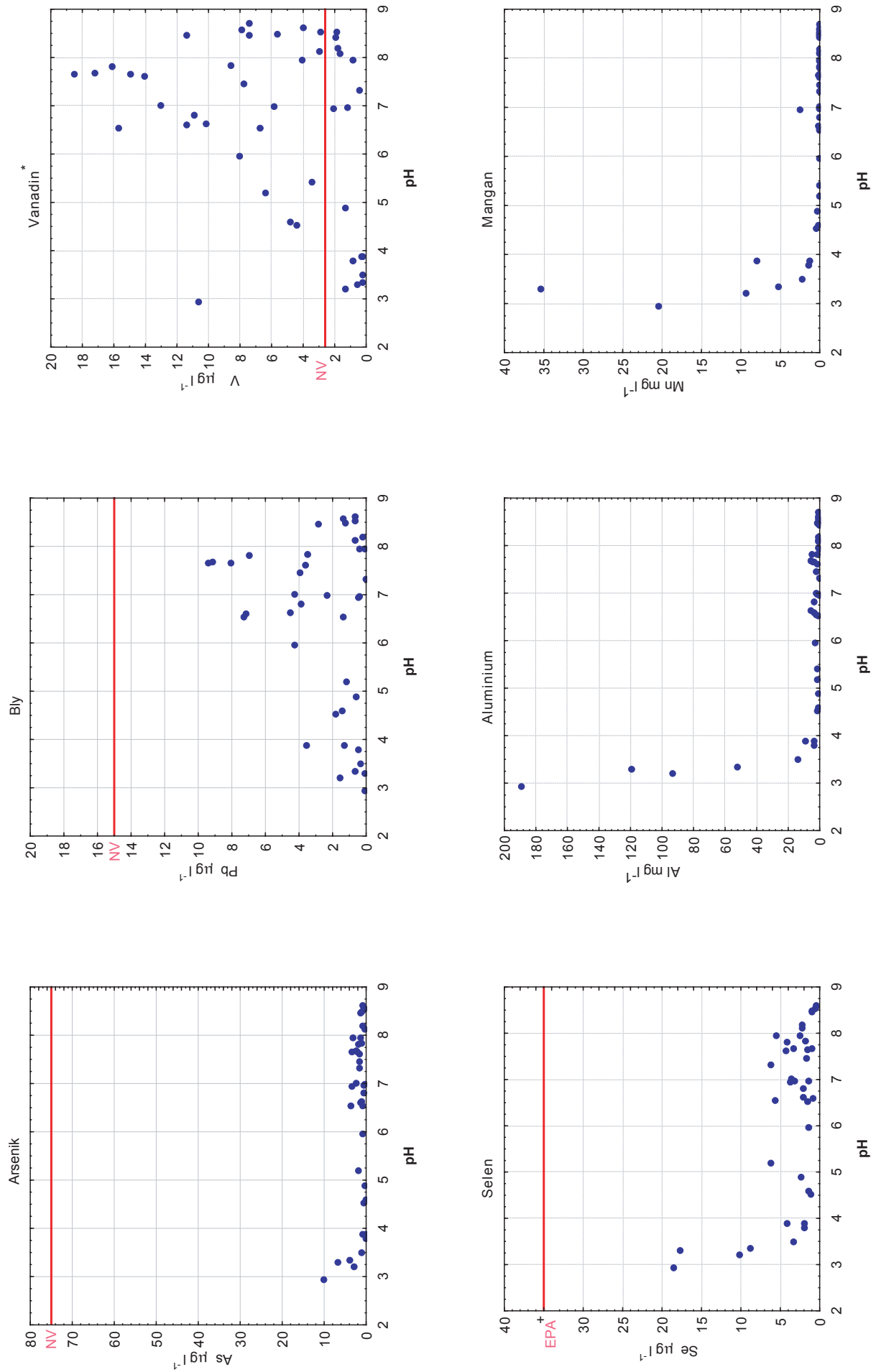
Halt % —————> mg/kg —————>

Provid	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Mo	Ag	Cd	Sn	La	W	Ti	Pb	Bi	Th	U
101	0.69	48.4	25.6	32.6	5.7	1.90	0.17	0.15	0.31	40.4	0.09	0.36	17.2	0.35	14.1	6.05
201	1.79	40.6	23.7	29.2	4.7	1.35	0.16	0.12	0.32	31.7	0.11	0.30	14.2	0.28	11.1	5.09
102	0.43	46.2	54.0	24.6	5.7	0.40	0.18	0.17	0.27	33.8	0.05	0.37	13.7	0.31	12.8	1.74
202	0.45	58.6	70.3	22.5	5.3	0.32	0.18	0.17	0.26	29.1	0.06	0.44	15.7	0.39	13.7	2.50
103	1.46	39.1	13.5	12.0	5.0	1.73	0.17	0.05	0.31	16.8	0.12	0.28	18.1	0.28	11.7	3.24
203	0.38	81.1	36.7	28.2	8.0	0.60	0.27	0.24	0.27	42.7	0.06	0.62	20.4	0.45	18.7	3.97
104	0.77	40.6	21.9	26.7	5.6	0.56	0.16	0.12	0.22	37.6	0.06	0.35	16.8	0.39	14.7	3.92
204	0.50	64.8	20.9	24.5	7.1	1.05	0.21	0.17	0.28	33.9	0.06	0.44	18.7	0.42	15.3	2.38
105	0.79	35.8	31.6	26.1	5.0	0.80	0.16	0.13	0.21	38.6	0.06	0.32	17.7	0.40	14.7	4.76
205	2.44	47.0	19.8	23.0	4.6	1.18	0.16	0.16	0.21	31.8	0.06	0.32	14.3	0.32	11.7	10.78
106	0.03	65.8	124.7	21.7	4.6	0.20	0.15	0.17	0.29	27.4	0.05	0.43	12.7	0.39	11.3	1.27
206	0.33	51.9	130.6	17.9	3.8	0.18	0.13	0.15	0.21	21.0	0.05	0.36	12.2	0.35	9.7	1.14
107	0.39	54.2	23.0	24.7	5.0	0.46	0.16	0.11	0.27	36.4	0.08	0.34	15.9	0.34	13.4	2.49
207	0.41	66.0	37.3	25.7	6.6	0.53	0.21	0.20	0.33	37.4	0.06	0.47	17.9	0.43	15.6	2.21
108	0.50	66.4	16.1	18.2	6.0	0.66	0.18	0.08	0.27	27.0	0.07	0.47	12.9	0.47	16.0	4.22
208	1.02	63.9	16.5	21.8	6.0	1.73	0.20	0.10	0.35	30.7	0.08	0.42	19.5	0.42	14.5	4.66
109	0.67	69.9	26.7	35.5	6.8	0.66	0.19	0.18	0.29	48.1	0.07	0.49	21.7	0.46	16.4	4.38
209	0.96	66.2	22.5	25.7	5.1	0.80	0.17	0.11	0.36	35.8	0.08	0.43	21.0	0.42	14.3	3.38
110	0.54	47.2	30.7	25.3	4.9	0.31	0.19	0.18	0.33	34.9	0.08	0.36	16.3	0.34	12.9	1.94
210	0.56	48.2	33.9	21.4	5.2	0.44	0.22	0.20	0.33	28.5	0.08	0.34	15.5	0.33	11.4	4.23
111	0.48	30.7	26.4	20.8	3.6	0.29	0.19	0.16	0.65	29.0	0.07	0.25	17.6	0.26	10.8	1.41
211	0.39	27.3	31.4	19.1	3.6	0.25	0.23	0.14	0.53	24.3	0.07	0.22	16.8	0.22	9.3	1.33
112	2.15	20.8	282.0	11.4	2.0	3.46	0.09	0.25	0.16	11.4	0.20	0.16	4.3	0.12	3.7	11.60
212	2.72	40.6	61.2	16.6	4.7	3.77	0.19	0.31	0.35	18.8	0.21	0.28	9.7	0.24	7.7	26.64
113	0.43	99.4	57.8	30.8	7.5	0.32	0.23	0.20	0.24	47.8	0.06	0.65	19.4	0.54	19.0	2.97
213	0.15	70.3	91.7	21.9	5.1	0.33	0.17	0.17	0.22	27.4	0.04	0.45	19.8	0.50	13.1	1.80
114	0.89	71.2	20.8	27.3	7.0	1.30	0.22	0.15	0.35	39.4	0.10	0.48	23.4	0.47	17.8	8.77
214	1.06	69.7	21.6	27.6	7.1	1.02	0.23	0.50	0.38	36.4	0.10	0.49	21.4	0.43	15.0	5.65
115	1.22	57.5	21.1	14.5	6.5	2.48	0.21	0.13	0.37	19.5	0.15	0.40	21.1	0.42	13.9	5.51
215	1.57	65.1	51.6	31.1	6.8	1.86	0.21	0.26	0.39	40.5	0.14	0.40	16.8	0.40	12.4	3.20
116	1.24	56.5	21.8	32.1	5.8	1.31	0.21	0.30	0.30	45.7	0.11	0.42	19.0	0.42	15.9	11.21
216	1.90	58.9	23.9	25.9	6.6	1.57	0.22	0.46	0.35	31.9	0.15	0.39	15.4	0.34	12.7	6.28
117	0.76	42.1	19.6	25.0	4.1	0.84	0.16	0.22	0.32	35.1	0.09	0.28	16.2	0.35	13.5	5.89
217	0.93	52.3	19.3	23.5	4.5	0.44	0.15	0.22	0.27	31.0	0.08	0.34	16.1	0.35	13.4	2.02
118	0.68	41.7	16.6	14.8	4.7	2.03	0.14	0.05	0.31	21.3	0.08	0.28	10.6	0.33	15.3	4.28
218	0.67	56.3	18.3	17.7	5.8	0.90	0.17	0.06	0.36	25.1	0.07	0.36	17.4	0.42	15.5	3.08
119	0.44	82.7	31.2	29.2	7.8	0.39	0.25	0.19	0.28	44.1	0.07	0.63	20.6	0.50	21.0	4.09
219	0.42	59.3	37.6	30.6	7.5	0.29	0.23	0.16	0.48	39.5	0.05	0.42	16.7	0.43	20.2	2.24
120	0.69	44.4	27.8	26.9	5.4	1.82	0.19	0.26	0.34	36.1	0.10	0.33	19.5	0.41	16.1	8.38
220	0.57	67.0	26.1	23.2	6.5	0.92	0.22	0.09	0.37	29.4	0.08	0.43	21.2	0.53	18.4	5.19
121	0.63	47.9	27.5	17.7	5.0	2.27	0.16	0.11	0.26	26.6	0.06	0.36	13.9	0.36	14.4	15.94
221	0.29	67.9	78.3	24.4	5.1	0.41	0.19	0.17	0.26	29.2	0.05	0.42	16.5	0.48	15.4	3.12
122	0.63	58.5	28.8	28.5	3.0	0.98	0.13	0.26	0.14	40.8	0.07	0.41	18.8	0.41	16.7	5.79
222	1.67	51.0	21.3	23.2	4.5	0.90	0.16	0.13	0.25	32.1	0.08	0.32	14.8	0.34	13.0	3.69
123	0.73	53.0	15.6	13.7	5.1	0.84	0.16	0.07	0.32	20.9	0.09	0.37	22.7	0.44	13.9	4.21
223	1.31	64.2	17.0	25.4	6.1	2.26	0.21	0.24	0.37	30.2	0.13	0.38	17.0	0.41	12.2	3.32
999	0.27	26.2	17.2	9.9	2.2	0.24	0.05	0.04	0.33	22.3	0.06	0.13	4.7	0.04	6.0	1.53
224	0.34	26.5	16.8	9.6	2.2	0.24	0.06	0.04	0.31	20.2	0.05	0.12	4.5	0.04	5.5	1.38
E4_6	2.06	44.0	14.7	17.3	4.8	0.83	0.17	0.07	0.33	23.5	0.11	0.39	18.6	0.40	14.4	2.77
E4_7	1.70	42.5	10.2	9.5	4.8	0.93	0.16	0.05	0.28	11.4	0.13	0.35	11.1	0.37	12.3	1.80
E4_8	2.51	45.5	19.5	22.0	5.3	1.14	0.18	0.16	0.37	28.3	0.14	0.39	16.8	0.38	13.5	3.26
E4_10	0.73	34.1	22.8	9.5	3.7	0.61	0.12	0.05	0.31	13.2	0.09	0.28	10.9	0.27	9.9	1.59

Halt mg/kg







* NV-värdet för vanadin är beräknat enligt avvikelseklass 5 utgående från "bakgrundshalt" i mindre vattendrag, södra Sverige
 + US EPA aquatic life protection limit

